

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Rancangan Percobaan

Percobaan pada umumnya dilakukan untuk menemukan sesuatu. Menurut Suhaemi (2011) secara teoritis, percobaan diartikan sebagai tes atau penyelidikan terencana untuk mendapatkan fakta baru. Rancangan percobaan adalah suatu uji atau sederetan uji baik menggunakan statistika deskripsi maupun statistik inferensi yang bertujuan untuk mengubah peubah input menjadi suatu output yang merupakan respons dari percobaan tersebut. Menurut Hartati (2013) rancangan percobaan merupakan langkah-langkah lengkap yang perlu diambil jauh sebelum eksperimen dilakukan agar data yang semestinya diperlukan membawa kepada analisis obyektif dan kesimpulan yang berlaku untuk persoalan yang sedang dibahas.

Rancangan Percobaan yang baik adalah yang efektif, terkelola dan efisien serta dapat dipantau, dikendalikan dan dievaluasi. Pengertian efektif adalah berkaitan dengan kemampuan mencapai tujuan, sasaran dan kegunaan yang direncanakan atau digariskan. Terkelola adalah berkenaan dengan kenyataan adanya berbagai keterbatasan atau kendala yang terdapat dalam pelaksanaan percobaan maupun dalam menganalisis data. Efisien adalah bersangkutan dengan pengrasionalan dalam penggunaan sumber daya, dana dan waktu dalam memperoleh keterangan dari percobaan.

Selain dalam bidang industri rancangan percobaan juga banyak digunakan dalam bidang pertanian, farmasi dan lain sebagainya. Beberapa istilah dalam rancangan percobaan menurut Ansori (2000) antara lain :

1. Perlakuan (*Treatment*)

Perlakuan merupakan suatu prosedur atau metode yang diharapkan pada unit percobaan. Prosedur atau metode yang diterapkan, misalnya pemberian jenis pupuk yang berbeda, dosis pemupukan yang berbeda, jenis varietas yang digunakan berbeda, pemberian jenis pakan yang berbeda, kombinasi dari semua taraf-teraf beberapa faktor dan lain-lain.

2. Taraf/Level

Taraf adalah nilai-nilai dari peubah bebas (faktor) yang dicobakan dibedakan menjadi 3 taraf yaitu varietas A, varietas B dan varietas C.

3. Faktor

Faktor adalah peubah bebas yang dicobakan dalam percobaan sebagai penyusun struktur perlakuan dicobakan dapat berupa peubah kualitatif maupun peubah kuantitatif yang dicobakan dalam percobaan sebagai penyusun struktur perlakuan.

4. Pengamatan berulang

Merupakan pengamatan yang dilakukan berulang kali dalam waktu yang berbeda pada suatu objek atau satuan amatan yang sama untuk mengetahui keragaman yang muncul pada respons.

Rancangan percobaan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Rancangan Perlakuan
 - a. Satu faktor (Tunggal)
 - b. Dua Faktor atau Lebih (*Factorial*)
 - c. Split Plot (Petak Terbagi)
 - d. Split Blok (Kelompok terbagi)
 - e. Strip Plot (Petak teralur)
2. Rancangan Lingkungan
 - a. Rancangan Acak Lengkap (RAL)
 - b. Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL)
 - c. Rancangan Bujur Sangkar Latin (RBSL)
 - d. Rancangan *Lattice*
3. Rancangan Pengukuran

B. Percobaan *Factorial*

Percobaan *factorial* adalah percobaan yang menggunakan lebih dari satu faktor dengan setiap taraf dari faktor dikombinasikan dengan taraf- taraf dari faktor lain Halim (1992 dalam Arfianto, 2013:6). Rancangan ini digunakan untuk menyelidiki secara bersamaan efek beberapa faktor berlainan. Disebut rancangan *factorial* karena semua faktor dikombinasikan atau disilangkan dengan taraf tiap faktor lainnya yang ada dalam percobaan tersebut. Interaksi antara faktor–faktor terjadi jika pengaruh suatu faktor berbeda pada tiap taraf faktor yang lain.

Tujuan dari percobaan *factorial* adalah untuk melihat interaksi antara faktor yang digunakan. Adakalanya kedua faktor saling sinergi terhadap respons (positif), namun adakalanya juga keberadaan salah satu faktor justru menghambat

kinerja dari faktor lain (negatif). Adanya kedua mekanisme tersebut cenderung meningkatkan pengaruh interaksi antar ke dua faktor. Interaksi mengukur kegagalan dari pengaruh salah satu faktor untuk tetap sama pada setiap taraf faktor lainnya atau secara sederhana, interaksi antar faktor adalah apakah pengaruh dari faktor tertentu tergantung pada taraf faktor lainnya.

Menurut Halim (1992) dalam Arfianto (2013), pengaruh (efek) suatu faktor pada rancangan *factorial* didefinisikan sebagai perubahan nilai respons yang disebabkan oleh perubahan taraf faktor. Adapun jenis- jenis dari efek *factorial*, adalah sebagai berikut :

1. Pengaruh (efek) sederhana (*simple effects*)

Pengaruh (efek) sederhana (*simple effects*) adalah pengaruh suatu faktor tertentu terhadap taraf tertentu faktor lainnya.

2. Pengaruh Utama (*Main effects*)

Pengaruh Utama (*Main effects*) adalah rata-rata dari pengaruh sederhana atau rata-rata terhadap taraf dari faktor lain.

3. Pengaruh interaksi (*Interaction effects*)

Pengaruh interaksi (*Interaction effects*) adalah jika pengaruh dari suatu faktor berbeda pada tiap taraf untuk faktor lainnya maka dikatakan bahwa antara faktor-faktor tersebut terjadi interaksi.

Berdasarkan adanya banyak taraf dalam tiap faktor, eksperimen ini sering diberi nama dengan menambahkan perkalian antara banyak taraf faktor yang satu dengan yang lainnya. Misal ada a level dari faktor A , b level dari faktor B , maka terdapat ab kombinasi perlakuan, contohnya dalam percobaan terdapat 5 faktor A ,

B, C, D dan E yang masing- masing terdiri atas 3 taraf, a level dari faktor A , b level dari faktor B ,... e level dari faktor E , maka diperoleh percobaan *factorial* $a \times b \times c \times d \times e = 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 243$ kombinasi perlakuan.

C. Percobaan *Factorial* 3^k

Suatu rancangan *factorial* seringkali ditemui kondisi dengan percobaan melibatkan k faktor dan setiap faktor terdiri atas 3 level. Rancangan dengan kondisi demikian disebut dengan rancangan *factorial* 3^k . Misalnya sebuah rancangan percobaan yang terdiri atas faktor A, B, C, D dan E dengan masing-masing faktor tersebut terdiri bertaraf 3 maka akan ada 243 kombinasi perlakuan dan akan ditulis sebagai rancangan *factorial* 3^5 . Dengan demikian semakin banyak faktor yang terlibat dalam suatu rancangan percobaan *factorial* tentunya semakin banyak pula unit percobaan yang ada, dan akan semakin banyak lagi jika dalam percobaan itu dilakukan pengulangan terhadap tiap unit percobaan. Desain *factorial* tiga level adalah suatu rancangan *factorial* yang terdiri dari k faktor, dengan setiap faktor dibatasi oleh tiga level, yaitu: level rendah, level menengah dan level tinggi. Notasi-notasi yang digunakan dalam desain *factorial* ini adalah: Level rendah dinotasikan dengan -1 atau $(-)$ atau 0 . Level menengah dinotasikan dengan 0 atau 1 . Level tinggi dinotasikan dengan 1 , $(+)$ atau 2 .

Percobaan yang dilakukan dengan tiga faktor misal A, B dan C yang masing masing bertaraf 3 maka dalam percobaan akan terdapat $3^3 = 27$ kombinasi perlakuan. Kombinasi perlakuan tersebut, ketiga taraf faktornya diberi notasi 0 untuk taraf rendah, 1 untuk taraf menengah dan 2 untuk taraf tinggi.

Tabel 2.1. Kombinasi perlakuan dari rancangan 3^3

Faktor A	Faktor B	Faktor C		
		0	1	2
0	0	$a_0b_0c_0$	$a_0b_0c_1$	$a_0b_0c_2$
	1	$a_0b_1c_0$	$a_0b_1c_1$	$a_0b_1c_2$
	2	$a_0b_2c_0$	$a_0b_2c_1$	$a_0b_2c_2$
1	0	$a_1b_0c_0$	$a_1b_0c_1$	$a_1b_0c_2$
	1	$a_1b_1c_0$	$a_1b_1c_1$	$a_1b_1c_2$
	2	$a_1b_2c_0$	$a_1b_2c_1$	$a_1b_2c_2$
2	0	$a_2b_0c_0$	$a_2b_0c_1$	$a_2b_0c_2$
	1	$a_2b_1c_0$	$a_2b_1c_1$	$a_2b_1c_2$
	2	$a_2b_2c_0$	$a_2b_2c_1$	$a_2b_2c_2$

Pada Tabel kombinasi perlakuan dengan data tanpa ulangan, misalnya $a_2b_0c_1$ menyatakan interaksi antara taraf tinggi faktor A dengan taraf rendah faktor B dan taraf menengah faktor C . Pada rancangan *factorial* 3^k terdapat 3^k kombinasi perlakuan dengan $3^k - 1$ total derajat bebas (*degrees of freedom*) untuk menaksir efek faktor, terdapat $\binom{k}{1}$ pengaruh utama masing – masing $db = (3 - 1)$, dan untuk $\binom{k}{2}$ pengaruh interaksi dua faktor masing masing dengan $db = (3 - 1)(3 - 1)$ dan seterusnya. Jika ada n ulangan, maka ada $n3^k - 1$ banyak derajat bebas total dan $3k(n - 1)$ derajat kebebasan untuk *error*. Sebagai contoh untuk 3^3 pada Tabel 2.2.

Menurut montgomery (2001), Untuk 2^k faktor, dengan keterbatasan waktu maka 2^k dapat difraksi sehingga memiliki 2^{k-p} kombinasi perlakuan. Sebagai contoh, $2^4 = 32$ kombinasi perlakuan, dengan faktor $ABCD$. Untuk menghemat waktu, biaya dan tenaga maka dapat dilakukan setengah dari percobaan tersebut

yaitu fraksi $\frac{1}{2}$ yang dinotasikan $p = 1$, sehingga $2^{4-1} = 8$ kombinasi perlakuan.

Untuk setiap faktor level 3 maka ada dua derajat bebas disetiap faktor. Misalkan C adalah fungsi dari taraf A dan B maka pilihannya $C = AB$, $C = AB^2$, $C = A^2B$ atau $C = A^2B^2$. Generator $C = AB$ berimplikasi bahwa

$$x_c = x_A + x_B \pmod{3}$$

Untuk $2x_A + 2x_B \pmod{3}$ menghasilkan 1 dan $x_A + x_B \pmod{3}$ menghasilkan 1, sehingga $C = A^2B^2$ dapat menggantikan $C = AB$. Hal yang sama juga terjadi pada $C = AB^2$ dan $C = A^2B$. Menurut Sartono (2008), konvensi yang umum diikuti adalah menggunakan generator dengan pangkat satu pada huruf pertama. Konvensi ini juga berlaku pada penulisan *definig relation* dan struktur alias.

Tabel 2.2 Anava Desain *Factorial* 3^3

Sumber Variasi	Db
Rata- rata	1
Faktor A	2
Faktor B	2
Interaksi AB	4
Faktor C	2
Interaksi AC	4
Interaksi BC	4
Interaksi ABC	8
Banyak	27

D. Rancangan *Fractional Factorial* (FF)

Percobaan 3^k yang terdiri atas k faktor yang masing-masing bertaraf 3, misal $k = 5$ maka dalam satu kali replikasi memerlukan 243 percobaan dan untuk $k = 6$ sudah memerlukan 729 percobaan. Apabila banyak k faktor semakin besar, maka berakibat pada banyak kombinasi perlakuan yang akan dilakukan sehingga dalam praktek percobaan sebanyak itu tidak efisien bahkan dalam beberapa hal tidak mungkin dilakukan. Untuk itu, agar percobaan dapat efisien maka dapat diambil hanya sebagian misalnya sepertiga, sepersembilan dari keseluruhan kombinasi. Rancangan tersebut disebut rancangan *Fractional Factorial* (FF) dalam rangka menurunkan banyak kombinasi perlakuan dan beberapa diantaranya dilakukan tanpa pengulangan.

Menurut montgomery (2001), keberhasilan dari penggunaan rancangan *Fractional Factorial* didasarkan pada tiga ide dasar berikut :

1. *The sparsity of effect principle*. Proses *screening* yang melibatkan banyak faktor dan beberapa kemungkinan pengaruh faktor yang dianalisis, pengaruh faktor utama dan pengaruh interaksi tingkat rendah lebih memegang peranan.
2. *The projection property*. Rancangan *Fractional Factorial* dapat diproyeksikan menjadi rancangan yang lebih kuat dengan melibatkan faktor-faktor yang memiliki pengaruh signifikan.
3. *Sequential experimentation*. Memungkinkan untuk menggabungkan dua atau lebih rancangan *Fractional Factorial* untuk membuat rancangan yang lebih besar guna menduga pengaruh faktor dan interaksi yang menarik.

Struktur rancangan *Fractional Factorial* ditentukan oleh banyaknya faktor yang dicobakan dan fraksi percobaan yang digunakan. Banyak faktor dan fraksi tertentu, dapat dibentuk beberapa struktur rancangan *Fractional Factorial* yang berbeda. Perbedaan struktur rancangan tersebut ditentukan oleh struktur generator (*generating relations*) yang saling bebas, *defining relation* (dilambangkan dengan I) dengan kolom yang sama tandanya dengan kolom identitas (I), kemudian alias (*aliases*) yaitu dua atau lebih pengaruh (efek) yang memiliki sifat yang sama yang diperoleh dari perkalian setiap pengaruh faktor-faktor dengan *defining relation* dan berdasarkan resolusi yang digunakan.

E. Model Linear Rancangan *Fractional Factorial* (FF)

Diberikan variabel respons y dari rancangan *factorial fractional* yang pengamatannya dilakukan tanpa pengulangan untuk tiap kombinasi perlakuan dan x_1, x_2, \dots, x_k variabel input yang berkaitan faktor independen. Hubungan antara variabel – variabel tersebut dapat digambarkan dalam persamaan berikut :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \quad (1)$$

Jika dilakukan sebanyak n kali, maka persamaan (1) menjadi :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \epsilon_i \quad (2)$$

Model terakhir ini dapat dituliskan dalam model linear, sebagai berikut :

$$y = X\beta + \epsilon \quad (3)$$

dengan :

x_1, x_2, \dots, x_k = Variabel bebas

y = Variabel terikat

β_0 = Koefisien Konstanta

$\beta_1, \beta_2 \dots \dots \beta_k$ = Variabel bebas

ϵ = *error*

F. *Fractional Factorial* Tiga-Level

Secara umum rancangan *fractional* pada percobaan *factorial* 3^k dilambangkan dengan 3^{k-p} , biasa ditulis $(\frac{1}{3})^p$ bagian dari 3^k untuk $p < k$. Jadi *fractional* $\frac{1}{3}$ bagian dilambangkan dengan 3^{k-1} , begitu pula dengan *fractional* $\frac{1}{9}$ bagian dengan 3^{k-2} begitu seterusnya. Untuk percobaan dengan tiga taraf fraksi yang bisa digunakan adalah :

1. Fraksi $\frac{1}{3}$ dari kombinasi perlakuan lengkap, bentuknya 3^{k-1} . Misalkan percobaan dengan 5 faktor maka rancangan *Fractional Factorial* nya dinotasikan 3^{5-1} , rancangan ini melakukan 81 kombinasi perlakuan dari 243 kombinasi perlakuan lengkap.
2. Fraksi $\frac{1}{9}$ dari kombinasi perlakuan lengkap, bentuknya 3^{k-2} . Misalkan percobaan dengan 5 faktor maka rancangan *Fractional Factorial* nya dinotasikan 3^{5-2} , rancangan ini melakukan 27 kombinasi perlakuan dari 243 kombinasi perlakuan lengkap.
3. Fraksi $\frac{1}{27}$ dari kombinasi perlakuan lengkap, bentuknya 3^{k-3} . Misalkan percobaan dengan 6 faktor maka rancangan *Fractional Factorial* nya dinotasikan 3^{6-3} , rancangan ini melakukan 27 kombinasi perlakuan dari 729 kombinasi perlakuan lengkap dan seterusnya.

G. Tabel Respons pada Rancangan *Fractional Factorial* Tiga level

Jika pengaruh dari suatu faktor berbeda pada tiap taraf untuk faktor lainnya maka antara faktor tersebut dikatakan terjadi interaksi dengan nilai dari efek

interaksi adalah rata-rata selisih efek sederhana suatu faktor. Untuk perhitungan efek dari masing-masing faktor dapat menggunakan tabel respons atau yang biasa disebut tabel *Orthogonal Array (OA)* dan disimbolkan dengan L_q dengan q adalah banyak percobaan dilakukan. *Orthogonal Array* ini dikembangkan oleh Taguchi dalam matriks *Fractional Factorial Experiment (FFE)*. Tabel *OA* dapat digunakan untuk menentukan pengaruh setiap faktor, *OA* dibuat oleh Jaques Hardmand pada tahun 1897 dan mulai diterapkan pada perang dunia II oleh Plackett Burman.

Efek dari faktor A terhadap respons y adalah rata-rata perubahan dalam respons yang dihasilkan pada saat faktor A menuju taraf rendah, taraf sedang dan taraf tinggi. Misalkan tabel *OA* dengan 9 kombinasi perlakuan terpilih yang terdiri dari 3 faktor (A,B, dan C) dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Matriks L_9 OA

Run	Faktor yang diamati			y
	A	B	C	
1	0	0	0	y_1
2	1	0	1	y_2
3	2	0	2	y_3
4	0	1	1	y_4
5	1	1	2	y_5
6	2	1	0	y_6
7	0	2	2	y_7
8	1	2	0	y_8
9	2	2	1	y_9

Efek dari masing-masing faktor dapat diperoleh dengan mengurangkan nilai terbesar dengan nilai terkecil diantara nilai masing-masing faktor untuk taraf rendah, taraf sedang dan taraf tinggi dengan nilai dari masing-masing faktor untuk setiap taraf diberikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\overline{A_0} &= \frac{y_1 + y_4 + y_7}{n} & \overline{B_0} &= \frac{y_1 + y_2 + y_3}{n} & \overline{C_0} &= \frac{y_1 + y_6 + y_8}{n} \\ \overline{A_1} &= \frac{y_2 + y_5 + y_8}{n} & \overline{B_1} &= \frac{y_4 + y_5 + y_6}{n} & \overline{C_1} &= \frac{y_2 + y_4 + y_9}{n} \\ \overline{A_2} &= \frac{y_3 + y_6 + y_9}{n} & \overline{B_2} &= \frac{y_7 + y_8 + y_9}{n} & \overline{C_2} &= \frac{y_3 + y_5 + y_7}{n}\end{aligned}$$

Secara umum Tabel respons untuk 3 faktor (A, B dan C) di atas dapat dituliskan dalam Tabel sebagai berikut :

Tabel 2.4 Tabel respons L_9 OA

Run	Response	A			B			C		
		0	1	2	0	1	2	0	1	2
1	y_1	y_{10}	-	-	y_{10}	-	-	y_{10}	-	-
2	y_2	-	y_{21}	-	y_{20}	-	-	-	y_{21}	-
3	y_3	-	-	y_{32}	y_{30}	-	-	-	-	y_{32}
4	y_4	y_{40}		-	-	y_{41}	-	-	y_{41}	-
5	y_5	-	y_{51}	-	-	y_{51}	-	-	-	y_{52}
6	y_6	-	-	y_{62}	-	y_{61}	-	y_{60}	-	-
7	y_7	y_{70}	-	-	-	-	y_{72}	-	-	y_{72}
8	y_8	-	y_{81}	-	-	-	y_{82}	y_{80}	-	-
9	y_9	-		y_{92}	-	-	y_{92}	-	y_{91}	-
Rata – rata (\overline{y})		$\overline{A_0}$	$\overline{A_1}$	$\overline{A_2}$	$\overline{B_0}$	$\overline{B_1}$	$\overline{B_2}$	$\overline{C_0}$	$\overline{C_1}$	$\overline{C_2}$
Estimasi efek utama		Terbesar- Terkecil			Terbesar- Terkecil			Terbesar- Terkecil		

H. Penggunaan Metode Lenth pada Rancangan *Fractional Factorial*

Diberikan model rancangan *factorial fractional* untuk k variabel input

$$y = X\beta + \epsilon$$

masing-masing faktor terdiri dari dua level dan pada tiap-tiap kombinasi perlakuan hanya dilakukan satu kali pengamatan, dengan kontras untuk tiap faktor, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$, dan penaksir untuk setiap faktor adalah $\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \dots, \hat{\beta}_k$. Hipotesis yang berkaitan dengan suatu faktor signifikan atau tidak dalam memberikan pengaruh terhadap variabel respons, dirumuskan sebagai berikut :

$$H_0 : \beta_i = 0$$

$$H_1 : \beta_i \neq 0 \quad i = 1, 2, \dots, k$$

Untuk menguji hipotesis tersebut, sebelum mengkonstruksi statistik uji terlebih dahulu ditentukan penaksir. Metode Lenth, dikemukakan dua bentuk penaksir untuk mengidentifikasi kontras yang signifikan, yaitu penaksir awal dan penaksir akhir. Untuk hal tersebut digunakan definisi yang dikemukakan oleh Halaand dan O'Connell (1995) dalam Dean (2006) yaitu :

$$a_0(q) = \frac{1}{\Phi_0^{-1}(q)} \quad (4)$$

dengan

$$\Phi_0^{-1}(q) = \Phi^{-1}\left(\frac{q+1}{2}\right)$$

dan Φ adalah fungsi distribusi kumulatif dari distribusi normal standar.

a. Estimasi Awal, s_0

Berdasarkan definisi (4), Dasar untuk analisis Lenth adalah bahwa beberapa nilai sampel dari distribusi normal dengan mean 0, dan memberikan n nilai absolut maka dapat diperoleh penaksir awal, s_0 , dari metode Lenth sebagai berikut :

$$s_0(q) = 1,5 \times \text{median}\{|\hat{\beta}_i|\}; \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (5)$$

b. Estimasi Akhir,

Untuk mendapatkan estimasi akhir dari metode Lenth, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai $\hat{\sigma}_{PSE}$.

$$\hat{\sigma}_{PSE} = 1,5 \times \text{median } |\hat{\beta}_i|; \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (6)$$

$$|\hat{\beta}_i| < 2.50$$

Pengujian hipotesis di bawah H_0 :

$$\frac{\hat{\beta}_i}{se(\beta)} \sim t_k; \quad i = 1, 2, 3, \dots, k \quad (7)$$

dengan persamaan (6) sebagai estimasi varian Metode Lenth, sedemikian hingga statistik uji sebagaimana diberikan pada persamaan (7) menjadi :

$$t_{\hat{\sigma}_{PSE}} = \frac{|\hat{\beta}_i|}{\hat{\sigma}_{PSE}}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, k$$

c. Batas Kesalahan (Margin Error (ME))

Untuk menentukan batas kesalahan dari metode Lenth, yaitu ME, terlebih dahulu ditentukan nilai kritis berdasar pemilihan α dan banyak k dengan α adalah taraf signifikan dan k banyaknya data .

Untuk $\alpha = 0.05$

$$P\left(|\hat{\beta}_i| < \hat{\sigma}_{PSE} \times t_{\frac{\alpha}{2}, d}\right) = 1 - \alpha$$

$$P(|\hat{\beta}_i| < \hat{\sigma}_{PSE} \times t_{0.025; d}) = 0.95$$

untuk $d = \frac{k}{3}$, sedemikian sehingga $\hat{\sigma}_{PSE} \times t_{0.025; d}$ merupakan batas kesalahan (*margin of error*) ditulis

$$ME = \hat{\sigma}_{PSE} \times t_{0.025; d} \quad (8)$$

d. Batas Kesalahan Simultan (*Simultan Margin Error (SME)*)

SME dari metode Lenth dinyatakan sebagai berikut :

$$c^*(k; \alpha) = \Phi^{-1} \left(\frac{1}{2} + \frac{(1 - \alpha)^{\frac{1}{k}}}{2} \right)$$

Untuk $\alpha = 0.05$, maka

$$c^*(k; 0.05) = \left(\frac{1 + (0.95)^{\frac{1}{k}}}{2} \right)$$

Misalkan $c^*(k; \alpha) = \gamma$, maka $c^*(k; 0.05) = \left(\frac{1 + (0.95)^{\frac{1}{k}}}{2} \right)$ dapat dituliskan menjadi

$$\gamma = \left(\frac{1 + (0.95)^{\frac{1}{k}}}{2} \right)$$

Oleh karena itu diperoleh batas kesalahan simultan :

$$P \left(\frac{|\hat{\beta}_i|}{\hat{\sigma}_{PSE}} < t_{\gamma; d} \right) = 0.95$$

$$P(|\hat{\beta}_i| < t_{\gamma; d} \times \hat{\sigma}_{PSE}) = 0.95$$

$$SME = t_{\gamma; d} \times \hat{\sigma}_{PSE} \quad (9)$$

Batas kesalahan simultan (*SME*) merupakan statistik yang digunakan untuk menentukan apakah suatu faktor signifikan atau tidak, yaitu estimasi efek faktor yang lebih besar dari *SME* dinyatakan sebagai faktor yang signifikan. (Sauddin, 2006). Menurut Russel V Lenth (1989), ada beberapa nilai derajat kebebasan d yang sering digunakan pada rancangan *factorial fractional* :

Tabel 2.5. quantiles dari distribusi t untuk nilai-nilai umum m dan derajat kebebasan d = m / 3 (tidak sekitar integer)

<i>m</i>	<i>t_{0,975;d}</i>	<i>t_{γ;d}</i>
7	3,76	9,01
15	2,57	5,22
31	2,22	4,22
63	2,08	3,91
127	2,02	3,84
255	1,99	3,89

Sumber : Russel V Lenth (1989)

I. Perkecambahan Benih

Perkecambahan adalah proses pertumbuhan embrio dan komponen-komponen biji yang mempunyai kemampuan untuk menjadi tumbuhan baru. Benih dapat berkecambah bila tersedia faktor-faktor pendukung selama terjadi perkecambahan, faktor tersebut adalah :

1. Faktor Dalam (*Internal Factor*)

Faktor dalam yang mempengaruhi perkecambahan benih antara lain :

a. Tingkat kemasakan benih

Benih yang dipanen sebelum tingkat kemasakan fisiologisnya tercapai tidak mempunyai viabilitas yang tinggi karena belum memiliki cadangan makanan yang cukup serta pembentukan embrio belum sempurna (Sutopo, 2002).

b. Ukuran Benih

Benih yang berukuran besar dan berat mengandung cadangan makanan yang lebih banyak dibandingkan dengan yang kecil pada jenis yang sama. Cadangan makanan yang terkandung dalam jaringan penyimpan digunakan sebagai sumber energi bagi embrio pada saat perkecambahan (Sutopo, 2002). Menurut Blackman dalam Sutopo (2002), berat benih berpengaruh terhadap kecepatan pertumbuhan

dan produksi karena berat benih menentukan besarnya kecambah pada saat permulaan dan berat tanaman pada saat dipanen.

c. Dormansi

Benih dikatakan dormansi apabila benih tersebut sebenarnya hidup tetapi tidak berkecambah walaupun diletakkan pada keadaan yang secara umum dianggap telah memenuhi persyaratan bagi suatu perkecambahan.

d. Hormon

Hormon adalah substansi kimia yang sangat aktif dan tersusun atas senyawa protein. Hormon tumbuhan yang mempengaruhi proses pertumbuhan antara lain, auksin, giberelin, sitokinin, kalin (rizokalin, kaulokalin, filokalin, antokalin), gas etilen, asam absisat, dan froligen

e. Gen

Gen mengandung factor-faktor sifat keturunan yang dapat diturunkan pada keturunannya. Gen juga berfungsi untuk mengontrol reaksi kimia didalam sel, misalnya sintesis protein. Pembentukan yang merupakan dasar penyusun tubuh tumbuhan, yang dikendalikan oleh gen secara langsung. (Siregar, 2010)

2. Faktor Luar (*Eksternal Factor*)

Faktor luar utama yang mempengaruhi perkecambahan diantaranya :

a. Air

Penyerapan air oleh benih dipengaruhi oleh sifat benih itu sendiri terutama kulit pelindungnya dan banyak air yang tersedia pada media di sekitarnya, sedangkan banyak air yang diperlukan bervariasi tergantung kepada jenis

benihnya, dan tingkat pengambilan air turut dipengaruhi oleh suhu (Sutopo, 2002).

b. Suhu

Suhu optimal adalah yang paling menguntungkan berlangsungnya perkecambahan benih dengan presentase perkembangan tertinggi dapat dicapai yaitu pada kisaran suhu antara 26.5 sd 35°C (Sutopo, 2002). Laju transpirasi dipengaruhi oleh kelembapan udara. Jika kelembapan udara rendah, transpirasi akan meningkat. Hal ini memacu akar untuk menyerap lebih banyak air dan mineral dari dalam tanah. Meningkatnya penyerapan nutrisi oleh akar akan meningkatkan pertumbuhan tanaman. (Siregar, 2010)

c. Oksigen

Saat berlangsungnya perkecambahan, proses respirasi akan meningkat disertai dengan meningkatnya pengambilan oksigen dan pelepasan CO₂, air dan energi panas. Terbatasnya oksigen yang dapat dipakai akan menghambat proses perkecambahan benih (Sutopo, 2002).

d. Cahaya

Kebutuhan benih akan cahaya untuk perkecambahannya bervariasi tergantung pada jenis tanaman (Sutopo, 2002). Adapun besar pengaruh cahaya terhadap perkecambahan tergantung pada intensitas cahaya, kualitas cahaya dan lamanya penyinaran. Menurut Adriance and Brison dalam Sutopo (2002), pengaruh cahaya terhadap perkecambahan benih dapat dibagi atas 4 golongan yaitu golongan yang memerlukan cahaya mutlak, golongan yang memerlukan cahaya untuk mempercepat perkecambahan, golongan dengan cahaya dapat menghambat

perkecambahan, serta golongan dengan benih dapat berkecambah baik pada tempat gelap maupun ada cahaya.

e. Medium

Medium yang baik untuk perkecambahan harus memiliki sifat fisik yang baik, gembur, mempunyai kemampuan menyerap air dan bebas dari organisme penyebab penyakit terutama cendawan (Sutopo, 2002). Pengujian viabilitas benih dapat digunakan media antara lain substrat kertas, kapas, pasir dan tanah.

Berdasarkan faktor luar diatas, maka penulis melakukan penelitian berdasarkan 5 faktor dengan keterbatasan yang ada didampingi mahasiswi farmasi dari Universitas Ahmad Dahlan dan biologi dari Universitas Negeri Yogyakarta. Faktor – faktor tersebut adalah Medium (tanah, bubur kertas dan kapas), Cahaya (cahaya langsung, tidak langsung dan tidak ada cahaya), Suhu (1 kali, 2 kali dan 3 kali penyiraman sehari), Kelembaban (2 ml, 2,5ml dan 3 ml) dan Air (air beras, air teh dan air tawar). Pemilihan biji kacang hijau berdasarkan bibit direndam dan dipilih biji yang tenggelam.